

# Afdækning af usikkerheder ved brug af LULUCF-kreditter

---

Notat fra  
DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi  
og  
DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Dato: 1. juni 2017  
Revideret 31. august 2017

Steen Gyldenkærne<sup>1</sup>, Gregor Levin<sup>1</sup>, Poul Erik Lærke<sup>2</sup>, Lars Elsgaard<sup>2</sup>, Jørgen E. Olesen<sup>2</sup>, Arezoo Taghizadeh-Toosi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut for Miljøvidenskab & <sup>2</sup>Institut for Agroøkologi

Rekvirent:  
Miljø- og Fødevareministeriet, Departementet  
Antal sider: 29

Faglig kommentering:  
Mette Hjort Mikkelsen

Kvalitetssikring, intern  
Pia Frederiksen  
DCE: Vibeke Vestergaard Nielsen

# Indhold

<b>Historik i opgavebeskrivelsen</b>	<b>3</b>
Spørgsmål til besvarelse	4
<b>1 Opgørelse af forventede LULUCF-kreditter for perioden 2021-2030 på baggrund af forskellige basisår</b>	<b>5</b>
1.1 Indledning	5
1.2 Scenarier	6
1.3 Resultater	8
1.4 Versioner af fremskrivningen 2016/2017	11
<b>2 Kortlægning af udgåede marker på tørvejord mellem 2010 og 2016</b>	<b>12</b>
2.1 Indledning	12
2.2 Data	12
2.3 Metode	12
2.4 Resultater	13
2.5 Konklusion	18
2.6 Udvikling af metoder til monitorering af ændring af arealers fugtighed	18
<b>3 Ændringer i fremskrivningen 2015 til fremskrivningen 2017</b>	<b>20</b>
3.1 Emissionsfaktorer for organiske jorder	20
3.2 Arealer med organiske jorder	22
3.3 Ændringerne i parametriseringen af C-tool	24
<b>4 Referencer</b>	<b>26</b>
<b>Bilag 1. Beregnede temperaturændringer med forskellige modeller (Madsen et al., 2012).</b>	<b>28</b>
<b>Bilag 2. Danske målinger af net ecosystem carbon balance (NECB) fra danske organiske jorde</b>	<b>29</b>

## Historik i opgavebeskrivelsen

DCE og DCA ved Aarhus Universitet (AU) blev i marts bedt om at belyse, hvor mange LULUCF-kreditter, der kan forventes at blive tilgængelige fra hhv. mineralske jorder og udtag af organiske jorder i perioden 2021-2030. I den forbindelse blev der også bedt om, at usikkerhederne ved tidligere opgørelser belyses, samt på baggrund heraf at angive et bud på, hvilke spænd udviklingen kan forventes at bevæge sig indenfor. Det blev specifikt ønsket, at nedenstående spørgsmål blev analyseret i forhold til usikkerhederne omkring LULUCF-kreditter fra henholdsvis uorganiske jorde og udtag af organiske jorde. Endelig blev DCE/DCA bedt om at skitsere mulighederne for at forbedre videngrundlaget på området gennem yderligere forskning.

Notat blev afleveret den 31. marts. Efterfølgende havde MVFM en række spørgsmål. Et uddybende svar blev afleveret den 19. april. Under udarbejdelsen af notatet blev der afdækket en fejl i Basisfremskrivningen og i de parametre, der anvendtes i den nye version af C-TOOL modellen, som gav anledning til ændringer i fremskrivningens LULUCF-kreditter.

En ny række spørgsmål blev stillet i en mailkorrespondance, hvor Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet (EFKM) skulle bidrage til besvarelse af disse spørgsmål. Disse spørgsmål vedrørte primært årsager til ændringerne fra tidligere fremskrivninger.

Dette notat genberegner fremskrivningen samt de scenarier, der belyser følsomheden overfor ændringer i temperatur, produktivitet og halmudtag samt sammenskriver besvarelserne af de spørgsmål, der er stillet undervejs i processen. Ligeledes forklares ændringerne ift. fremskrivningen fra 2015.

Første del af notatet indeholder genberegninger af scenarieanalyser af det forventede bidrag til den danske reduktionsforpligtigelse fra Cropland Management (CM) og Grazing land Management (GM) i perioden 2021-2030. Herunder beskrives hvad der har givet anledning til genberegningen. Anden del er en analyse af de organiske jorder, som "falder ud" af Internet Markkort (IMK) i perioden 2010-2016. Dette omfatter arealer, hvor den, som har rådighed over arealet, ikke længere søger om tilskud under enkeltbetalingsordningen. Arealer, som f.eks. er overgået til anden kendt anvendelse, f.eks. etablering af vådområder, hvor DCE har arealoplysninger, eller til infrastrukturer, indgår ikke i analysen. Tredje del indeholder en forklaring af forskelle i den aktuelle fremskrivning (kaldet FREM17) og den fremskrivning der publiceredes i 2015.

## Spørgsmål til besvarelse

### *LULUCF-kreditter fra mineralske jorder*

DCE har i tidligere analyser anført, at det forventes, at der genereres i alt ca. 6 mio. LULUCF-kreditter i perioden 2021-30 fra mineralske jorder. I forhold hertil belyses følgende usikkerheder:

1. Antallet af kreditter er påvirket af fastlæggelsen af basisperioden. De dårlige høstår i 2006 og 2007, har resulteret i, at udledningerne af CO<sub>2</sub> fra de mineralske jorder var højere end normalt. Det belyses, hvad det betyder for antallet af kreditter, hvis udgangspunktet for reduktionerne fastlægges ud fra gennemsnittet af udledningerne i en længere årrække. MFVM og EFKM giver et bud på, hvilken periode der bør ses på.
2. Der er usikkerhed omkring den fremtidige temperaturudvikling, som bl.a. kan påvirke udbytter og kulstofomsætningen i jorden. Der ønskes udarbejdet et bud på, hvilken betydning det har for antallet af kreditter, hvis temperaturen stiger mere end forventet i den normalt anvendte fremskrivning fra DMI.
3. Der gives et bud på betydningen af eventuelle afvigelser fra den forventede udvikling vedrørende kvælstoftildelingen og udbyttestigninger.

### *LULUCF-kreditter fra organiske jorder*

Udtag af organiske lavbundsgræsland fra produktion ventes ifølge DCE-fremskrivning at generere et højt antal kreditter. I forhold hertil belyses følgende:

1. Det søges via analyser af luftfotos belyst, hvad der sker med de arealer, der tages ud af drift, og om dette er kongruent med den anvendte emissionsfaktor.
2. Det analyseres, hvilken betydning det har for udledningerne, hvis de arealer, der tages ud af drift, kategoriseres som "grassland".
3. Beskrivelse af forslag til yderligere forskning, der kan forbedre nuværende videngrundlag på området.

### *Uddybende spørgsmål til første version af notatet*

1. **I appendiks 2** (til første version) er oplistet otte studier, som belyser kulstofbalancen i organogene jorder i Danmark. De beregninger, som er af-rapporteret i notatet, bygger på ét af disse studier. Det bedes uddybet, hvad der ligger bag valget af netop dette studie og fravalget af de øvrige.
2. Notatet giver et markant andet billede af den forventede udvikling i emissionerne fra organogene jorder end tidligere opgørelser. Dette bedes fremhævet i notatet – gerne via en tabel, der viser de gamle og de nye værdier samt ændringerne i de bagvedliggende variable. Der ønskes endvidere en uddybende forklaring af, hvad der er baggrunden for ændringen.
3. Det bedes forklaret, hvad der er baggrunden for, at mineraljorderne er gået fra kilde til nu en sink. I den forbindelse bedes ændringerne i parameteriseringen af C-TOOL dokumenteret og forklaret. Endelig ønskes en vurdering af, om ændringerne i parameteriseringen af C-TOOL giver anledning til risiko for underkendelse ved review af den nationale opgørelse af drivhusgasudledningerne, samt hvor stor den pågældende risiko i givet fald er.

# 1 Opgørelse af forventede LULUCF-kreditter for perioden 2021-2030 på baggrund af forskellige basisår

## 1.1 Indledning

Danmark har i forbindelse med opfyldelsen af den danske reduktionsforpligtigelse under Kyoto protokollen tilvalgt CM (Cropland Management) og GM (Grassland Management). CM og GM kan bidrage til reduktionsforpligtigelsen ud fra net-net princippet. I korte træk betyder det, at hvis man ændrer sit udslip af drivhusgasudledningen fra disse arealer i forpligtigelsesperioden (under Kyotoprotokollen var første forpligtigelsesperiode (CP1) årene 2008-2012 og anden forpligtigelsesperiode (CP2) årene 2013-2020) i forhold til referenceperioden (under Kyotoprotokollen er basisåret 1990), skal ændringen indgå i den samlede vurdering af Danmarks opfyldelse af den danske reduktionsforpligtigelse. Som eksempel kan nævnes, at hvis der i basisåret var en høj udledning per år, og der i forpligtigelsesperioden var en lavere udledning per år, kan forskellen indgå som et positivt bidrag til opfyldelse af reduktionsforpligtigelsen. Hvis udledningen derimod var større per år i forpligtigelsesperioden, ville forskellen bidrage negativt til reduktionsforpligtigelsen. Det samme gør sig også gældende, hvis der både i basisåret og forpligtigelsesperioden var bindinger i begge år. Det er således ændringen i udledningerne, der er afgørende for bidraget til reduktionsforpligtigelsen.

Indenfor EU's interne forslag til byrdefordelingsaftale, som indeholder reduktionsforpligtigelser for årene 2021-2030, har man valgt at gå væk fra Kyoto-protokollens basisår, dvs. 1990, til generelt at anvende 2005 som basisår. For Land Use, Land Use and Forestry (LULUCF)-området kan der være store variationer i det årlige udslip/optag, hvorfor man har foreslået at anvende et gennemsnit af flere år som basisår.

I det følgende er det forventede bidrag til den danske reduktionsforpligtigelse fra CM- og GM-området beregnet ved at anvende fire forskellige basisår, hhv. et gennemsnit af årene 2005-2007, et gennemsnit af årene 2005-2009, af årene 2005-2010 samt af årene 2007-2013 kombineret med fremskrivningerne for LULUCF frem til 2035. Beregningerne følger det forslag til opgørelsesmetode, som er fremsat af EU kommissionen (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52016PC0479>). Det betyder, at emissioner fra arealer, som overgår fra f.eks. Cropland til Wetlands (vådområder) og Settlements (By og infrastrukturer) i perioden 2021-2030, indgår i opgørelsen for Cropland for de pågældende år.

Som udgangspunkt anvendes den model, som også anvendes til de nationale opgørelser for LULUCF og opgørelserne frem til 2015. De analyserede scenarier er beskrevet nedenfor.

De primære betydende faktorer for kulstof i CM og GM skyldes udviklingen i udledninger/bindinger fra jord, selvom tab/opbygning af levende biomasse også indgår i beregningerne, når der skal tages hensyn til arealovergange mellem de forskellige arealkategorier. Ændringer i levende biomasse har nogen indflydelse på bidraget til reduktionsforpligtigelsen fordi arealændringer fra CM og GM arealer (landbrugsarealerne - Cropland og Grassland ) til arealer

med en mindre mængde stående levende biomasse (bebyggelse) medfører tab i denne kategori. I fremskrivningen anvendes der generelt en årlig skovrejsning på 1900 ha, og en årlig øget arealanvendelse til by og infrastrukturer på 1297 ha som er den gennemsnitlige årlige overgang til by og anden infrastruktur i perioden 1990-2015. De 1900 ha skov svarer til det gennemsnitlige areal, som der er fundet dokumentation for i perioden 2011-2015, og som indgår i den nuværende emissionsopgørelse. Udokumenteret skovrejsning indgår således ikke i antagelserne. Opgørelserne fra jord er opdelt i to, hhv. mineraljorder og organiske jorder. Udledningen/bindingen fra mineraljorder beregnes med C-TOOL version 2.3 og udledningen fra organiske jorder (organisk kulstofindhold >6 %, svarende til jordbunds klasse JB11) beregnes med faste emissionsfaktorer per ha.

## 1.2 Scenarier

Scenarierne er udformet således, at de primært belyser hvilke forhold, der kan trække estimatet af LULUCF-kreditter nedad.

Til scenarieberegningerne er der foretaget otte kørsler med C-TOOL med hhv. tre udbytniveauer, to temperaturniveauer og to ændringer i halmudtaget. For de organiske jorder er der udarbejdet to scenarier, tabel 1.1.

Tabel 1.1 Oversigt over de forskellige scenarier.

	Scenarie	Udbytteændring	Temperaturer	Halmudtag	Emissionsfaktorer for organiske jorder
1	FREM17, mineraljord, organisk jord og levende biomasse, CL+GL	+ 5 % i forhold til 2006-2015	+ 1,5 °C fra 1961-1990 til 2050	Samme som i 2015	Nuværende nationale faktorer
2	Y1, kun variation i mineraljord	+ 2,5 % i forhold til 2006-2015	+ 1,5 °C fra 1961-1990 til 2050	Samme som i 2015	Nuværende nationale faktorer
3	Y2, kun variation i mineraljord	+ 0 % i forhold til 2006-2015	+ 1,5 °C fra 1961-1990 til 2050	Samme som i 2015	Nuværende nationale faktorer
4	T1, kun variation i mineraljord	+ 5 % i forhold til 2006-2015	+ 2,5 °C fra 1961-1990 til 2050	Samme som i 2015	Nuværende nationale faktorer
5	T2, kun variation i mineraljord	+ 2,5 % i forhold til 2006-2015	+ 2,5 °C fra 1961-1990 til 2050	Samme som i 2015	Nuværende nationale faktorer
6	T3, kun variation i mineraljord	+ 0 % i forhold til 2006-2015	+ 2,5 °C fra 1961-1990 til 2050	Samme som i 2015	Nuværende nationale faktorer
7	H1, kun variation i mineraljord	+ 5 % i forhold til 2006-2015	+ 1,5 °C fra 1961-1990 til 2050	25 % øget halmudtag	Nuværende nationale faktorer
8	H2, kun variation i mineraljord	+ 5 % i forhold til 2006-2015	+ 1,5 °C fra 1961-1990 til 2050	25 % mindre halmudtag	Nuværende nationale faktorer
9	O1, som FREM17 med ændring i organisk jord	+ 5 % i forhold til 2006-2015	+ 1,5 °C fra 1961-1990 til 2050	Samme som i 2015	IPCC default faktorer
10	O2, som T3 med ændring i organisk jord	+ 0 % i forhold til 2006-2015	+ 2,5 °C fra 1961-1990 til 2050	Samme som i 2015	IPCC default faktorer

Basisfremskrivning (FREM17). Ud over de ovennævnte faktorer er der beregnet en basisudvikling i høstudbytte for hver afgrøde, der indgår i opgørelserne for hver subregion i C-TOOL. Heri anvendes i alt 20 sub-regioner for hele Danmark. For hver sub-region er der anvendt en lineær fremskrivning af "normaludbytte", som basisudbytte for fremskrivningerne. Dette er estimeret på baggrund af den generelle stigning i høstudbytterne gennem de sidste ti år. Som følge af landbrugspakken, der tillader øget kvælstoftilførsel til alle afgrøder, forventer Leif Knudsen (SEGES, 2017, pers. komm.), at der vil ske en generel udbyttestigning på 5 % i 2017 i forhold til perioden 2006-2015. Herudover er der som følge af den generelle udvikling anvendt en årlig stigning i udbytterne på 0,5 % i perioden 2017-2035 (Leif Knudsen, SEGES, pers. komm.). Dette er i overensstemmelse med den hidtidige udvikling i udbytter af danske landbrugsafgrøder (Jensen et al., 2016). Da dette notat omhandler usikkerheden for opnåede LULUCF-kreditter i 2030, er der ikke foretaget alternative scenarieberegninger med højere udbyttene. Som temperaturmodel til C-TOOL er der anvendt resultater fra Doltra et al. (2014). Dette studie anvender to klimamodeller (et lavere og et højere) under IPCC's A1B scenarie: RACMO2 drevet af GCM ECHAM5 (KNMI, Netherlands), og HadRM3Q0 drevet af GCM HadRM3Q0 (Met-Office Hadley Centre, UK). Førstnævnte benævnes KNMI nedenfor, og sidstnævnte HC (benævnt METO i Doltra et al. 2014).

Forskellige temperaturscenarier opgjort med forskellige modeller kan ses i figurerne i Bilag 1. Basisfremskrivningen har betegnelsen: "FREM17"

1. Y1: A1B-scenarie beregnet med KNMI-modellen for temperaturer, 2,5 % udbyttestigning som følge af øget kvælstof (N)-tilførsel og 0,5 % årlig stigning i udbytte fra 2017-2035.
2. Y2: A1B-scenarie beregnet med KNMI-modellen for temperaturer, 0 % udbyttestigning som følge af øget N-tilførsel og 0,5 % årlig stigning i udbytte fra 2017-2035.
3. T1: A1B-scenarie beregnet med HC-modellen, 5 % udbyttestigning som følge af øget N-tilførsel og 0,5 % årlig stigning i udbytte fra 2017-2035. HC-modellen (METO) forudsiger en gennemsnitlig stigning på ca. 2,5 C fra gennemsnittet af perioden 1961-1990 til 2040 (Doltra et al. 2014)
4. T2: HC-temperaturer, 2,5 % udbyttestigning som følge af øget N-tilførsel og 0,5 % årlig stigning i udbytte fra 2017-2035
5. T3: HC-temperaturer, 0 % udbyttestigning som følge af øget N-tilførsel og 0,5 % årlig stigning i udbytte fra 2017-2035
6. H1: A1B-scenarie beregnet med KNMI-modellen for temperaturer, 5 % udbyttestigning som følge af øget N-tilførsel og 0,5 % årlig stigning i udbytte fra 2017-2035 samt 25 % øget halmudtag
7. H2: A1B-scenarie beregnet med KNMI-modellen for temperaturer, 5 % udbyttestigning som følge af øget N-tilførsel og 0,5 % årlig stigning i udbytte fra 2017-2035 samt 25 % mindre halmudtag
8. O1: FREM17 samt anvendelse af standard-emissionsfaktorer fra IPCC's Wetland 2013 Supplement (IPCC, 2014). Disse er hhv. 7,9 ton kulstof (C) per ha per år for afgrøder i omdrift og 6,1 ton C per ha per år for dybt

drænet vedvarende græs, hvor de danske nationale emissionsfaktorer er 11,5 ton C per ha per år for afgrøder i omdrift hhv. 8,4 ton C per ha per år for vedvarende græs og 3,6 ton C per ha for organiske jorder registeret i Cropland men uden for markkortene.

9. O2: Scenarie T3 (HC-temperaturer og 0 % udbyttetigning) samt anvendelse af standard-emissionsfaktorer fra IPCC's Wetland 2013 Supplement (IPCC, 2014). Disse er hhv. 7,9 ton C per ha per år for afgrøder i omdrift, 6,1 ton C per ha per år for dybt drænet vedvarende græs, hvor de danske nationale emissionsfaktorer er 11,5 ton C per ha per år for afgrøder i omdrift, hhv. 8,4 ton C per ha per år for vedvarende græs og 3,6 ton C per ha for organiske jorder registeret i Cropland, men beliggende udenfor markkortene.

### 1.3 Resultater

I resultatbeskrivelserne herunder er der primært fokuseret på ændringer i landbrugsjordernes kulstofindhold. Tabel 1.2 viser de overordnede tal for bidrag til reduktionsforpligtigelsen fra CM og GM. Dette inkluderer både de mineralske jorder, organiske jorder, ændringer i lageret af levende biomasse og arealer, der forventes overgået til anden arealanvendelse i perioden 2021-2030, samlet set. En opdeling på hhv. CM og GM er ikke mulig, da C-TOOL anvendes for mineraljorder under ét. Danmark har tilvalgt både CM og GM, og det vil derfor være summen af tallene fra de to arealklasser, der bidrager til reduktionsforpligtigelsen.

Generelt opnås de største kreditter ved anvendelsen af et basisår fra 2005-2007. Det skyldes, at især inkludering af 2007 i basisperioden er væsentligt for opgørelsen af emissioner i denne periode, idet afgrødeproduktionen dette år var ret lav. Jo mindre andel 2007 udgør af perioden, jo færre kreditter vil der blive genereret, fordi basisårsemissionen dermed bliver lavere. I Tabel 1.2 er der angivet den samlede basisårsudledning for CM og GM. FREM17 giver den maksimale kulstoflagring over perioden 2021-2030, under forudsætning af en 1,5 °C temperaturstigning frem til 2050 fra standardperioden 1961-1990. Madsen et al. (2012) har estimeret forandringer af klimatiske variable på baggrund af klimamodel-outputs fra en række forskellige modeller udviklet i Ensemble studiet (se et udvalg af resultater fra Madsen et al., Bilag 1). Andre mere omfattende studier har vist, at KNMI-modellen lægger sig tæt op ad middelværdien af mange modeller. Madsen et al. (2012) anbefaler, at studier af effekter af klimaforandringer anvender minimum to klimamodeller, og anbefaler KNMI-modellen, samt HC-modellen som en supplerende model med et stærkere klimaforandringssignal. Der er derfor her suppleret med beregninger med en temperaturstigning på 2,5 °C, som er valgt lidt lavere end den forventede temperaturstigning beregnet med HC-klimamodelen i Doltra et al. (2014).

I alt vurderes det, at FREM17 vil kunne bidrage med ca. 20,5 mio. ton CO<sub>2</sub>-ækvivalenter for perioden 2021-2030, hvis basisåret bliver 2005-2007.

En lavere forventning til høstudbytter (scenarie Y1 og Y2) svarende til en halvering af effekten af øget N-tilførsel (Y1) samt ingen effekt (Y2) giver kun ringe effekt på bidraget til reduktionsforpligtigelsen. Dette skyldes, at et øget høstudbytte kun bidrager marginalt til en øget mængde ekstra halm, som kan indarbejdes i jorden, og at denne halm for en stor dels vedkommende hurtigt nedbrydes i jorden til CO<sub>2</sub>.



En øget temperatur derimod har stor indflydelse på det forventede bidrag til reduktionsforpligtigelsen. Hvis temperaturforventningen på 1,5 °C fra gennemsnittet af perioden 1961-1990 øges til 2,5 °C, reduceres det forventede bidrag i perioden med ca. 31 % fra ca. 20,5 mio. ton CO<sub>2</sub>-ækv. (FREM17) til 13,8 mio. ton CO<sub>2</sub>-ækv. (T1).

For organiske jorder anvender Danmark nationalt udarbejdede emissionsfaktorer (EF), som blev udarbejdet i SINKS projektet. Disse EF'er er højere sammenlignet med IPCC's standard EF-værdier. I scenarierne O1 og O2 er beregnet effekten af en ændring i EF for de organiske jorder til IPCC-standardniveau. O1 er FREM17-scenariet med en lav temperaturudvikling, mens O2-scenariet er med høj temperaturudvikling og ingen stigning i høstudbyttet. O2-scenariet vurderes til at give de laveste bidrag til reduktionsforpligtigelsen, der kan opnås med den nuværende viden. Ved en ændring af EF for de organiske jorder vil der ske en ændring i basisåret, fordi udledningen for hele af-rapporteringsperioden ændres. I Appendiks 2 er angivet resultatet af nyere danske målinger sammensat af Lars Elsgaard, DCA. Disse indgår ikke i analysen, da disse er en opgørelse over målte emissioner foretaget i Danmark, som ikke er normaliseret til at kunne bruges i de nationale opgørelser som gennemsnitsemmissioner.

Tabel 1.2 Samlet muligt bidrag til den danske reduktionsforpligtigelse i årene 2021-2030 med fire forskellige basisår i mio. ton CO<sub>2</sub>-ækvivalenter. Negative værdier er et bidrag til reduktionsforpligtigelsen, mens positive værdier angiver en øget reduktionsforpligtigelse. De grønne linjer angiver den beregnede samlede emission fra CM og GM i basisåret.

Scenarie	Basisår			
	2005-2007	2005-2009	2005-2010	2007-2013
Basisårsemission ved høj EF for organiske jorder, mio. ton CO <sub>2</sub> -ækv./år	4,82	4,51	4,23	3,80
1. Frem17, mio. ton CO <sub>2</sub>	-20,5	-17,4	-14,6	-10,3
2. Y1, mio. ton CO <sub>2</sub>	-19,8	-16,6	-13,8	-9,5
3. Y2, mio. ton CO <sub>2</sub>	-19,0	-15,8	-13,0	-8,7
4. T1, mio. ton CO <sub>2</sub>	-13,8	-10,6	-7,8	-3,5
5. T2, mio. ton CO <sub>2</sub>	-13,0	-9,9	-7,0	-2,7
6. T3, mio. ton CO <sub>2</sub>	-12,3	-9,1	-6,3	-2,0
7. H1, mio. ton CO <sub>2</sub>	-19,1	-16,0	-13,2	-8,9
8. H2, mio. ton CO <sub>2</sub>	-21,9	-18,8	-16,0	-11,6
Basisårsemission ved IPCC standard-EF for organiske jorder, mio. ton CO <sub>2</sub> -ækv./år	3,64	3,34	3,07	2,69
9. O1, mio. ton CO <sub>2</sub>	-18,8	-15,8	-13,1	-9,2
10. O2, mio. ton CO <sub>2</sub>	-10,5	-7,5	-4,8	-1,0

Tabel 1.3. De organiske jorders forventede bidrag til reduktionsforpligtigelsen i 2021-2030, med national EF, som anvendt i FREM17, hhv. IPCC standard-EF, mio. ton CO<sub>2</sub>-ækv.

Scenarie	Basisår			
	2005-2007	2005-2009	2005-2010	2007-2013
National EF	-5,2	-4,6	-4,3	-2,9
IPCC EF	-3,4	-3,0	-2,8	-1,9

I tabel 1.3 er vist de organiske jorders forventede bidrag til reduktionsforpligtigelsen i 2021-2030 med forskellige basisår med hhv. de nuværende emissionsfaktorer og med IPCC's standard-emissionsfaktorer. Med et basisår på 2005-2007 og ved anvendelse af nationale EF'er, forventes et bidrag fra de organiske jorder på 5,2 mio. ton CO<sub>2</sub> (eksklusiv effekten fra lattergas (N<sub>2</sub>O) og metan (CH<sub>4</sub>)). Effekten af en lavere EF for de organiske jorder er således et reduceret bidrag til reduktionsforpligtigelsen på ca. 0,2 mio. ton CO<sub>2</sub>-ækv. per år svarende til 1-2 mio. ton for perioden 2021-2030 for de forskellige basisårsbetragtninger.

I tabel 1.4 er gennemsnittet af LULUCF-emissionerne for to forskellige basisperioder, samt estimerede kreditter i perioden 2021-2030 for basisår 2005-2007 fordelt på de to hovedjordbundstyper sammenstillet for fremskrivningen fra 2015 samt de to versioner af fremskrivningen fra 2017.

Tabel 1.4 Gennemsnitlige emissioner i basisår, samt estimerede kreditter, mio. ton CO<sub>2</sub>-ækv.

	2015Frem	2017Basis	2017Frem	FREM2017 v2 2005-2009
gnsnt. CL & GL emissioner 2005-07, mio ton CO <sub>2</sub> -ækv. per år	4,104	3,010	4,824	4,824
gnsnt. CL & GL Emissioner 2005-09, mio ton CO <sub>2</sub> -ækv. per år	4,438	3,320	4,508	4,508
CL + GL kreditter mineraljorde (1)	6,498	35,950	18,828	16,214
CL + GL kreditter organiske jorde (1)	13,603	6,342	5,189	4,621
CL + GL kreditter fra levende biomasse, N <sub>2</sub> O og CH <sub>4</sub>	ikke beregnet	1,746	-3,480	-3,466
I alt	ikke beregnet	44,038	20,537	17,370

- 1) Ved tidspunktet for udarbejdelse af FREM15 var der ikke foreslået en basisårsperiode. Beregningen af kreditter fra mineralske og organiske jorder pba. FREM15 er således udført ifm. udarbejdelsen af dette notat.

For mineraljorder skyldes forskellen primært, at der ved FREM15-beregningerne ikke kunne inddrages konsekvenser af Landbrugspakken, dvs. en forventet ekstra udbyttetigning og dermed en øget kulstoflagring i jord. Herudover er C-TOOL i mellemtiden opdateret, hvilket også har medført ændringer. Forskellen for mineraljorder mellem 2017Basis og FREM17 skyldes en fejl i opsætningen af C-TOOL (se afsnit 1.4). De nævnte 44,038 mio. ton i 2017Basis indgik ikke i basisfremskrivningen af 3. marts 2017, fordi denne kun omfatter konventionsafrapportering. De 44,038 fremgår i besvarelsen af en selvstændig henvendelse fra EFMK om en beregning af kreditter (13. marts 2017).

For de organiske jorder skyldes forskellen især en revurdering af effekten af organiske jorder, der ikke længere er registreret i markkortet (IMK), se afsnit 3.1, men også ændringer i forventninger til arealet af udtagning af våd- og lavbundsområder, se afsnit 3.2.

## 1.4 Versioner af fremskrivningen 2016/2017

Fremskrivningen (FREM17) afviger fra fremskrivninger i tidligere fremsendte notater. Årsagerne til disse forskelle er beskrevet nedenfor.

### a. Basisfremskrivning af 3. marts 2017

I basisfremskrivningen, som fremsendt til EFKM den 3. marts som input til EFKM's basisfremskrivning, var der indlejret to fejl, som havde betydning for resultaterne. Den ene var, at der i modelopsætningen kun blev beregnet halmudtag til og med 2015. Dvs. at fra 2016 og frem var beregningerne baseret på, at al produceret halm blev returneret til jorden. Resultatet var derfor en for høj fremadrettet kulstoflagring, hvilket genererede for mange kreditter, som fremgik af en særskilt fremsendelse (13. marts) på baggrund af forespørgsel fra EFKM. Den anden fejl lå i parameteriseringen af C-TOOL (se c. herunder). Herudover er der i den endelige version ændret i forudsætningerne for udtagningen af organiske jorder, baseret på oplysningerne i Finansloven. Dette skøn er mere konservativt end i basisfremskrivningen af 3. marts 2017.

### b. Fremskrivning i følsomhedsnotat

I følsomhedsnotat af 31. marts 2017 var fejlen i halmudtaget korrigeret, men ikke fejlen i parameteriseringen af C-TOOL. I følsomhedsnotatet var der endvidere ikke ændret i udtagningen af de organiske jorder.

### c. Endelig fremskrivning (rettet parameterisering af C-TOOL)

Der er den 18. april 2017 i forbindelse med en granskning af opsætningen af C-TOOL på karakteristiske danske jordtyper konstateret en fejl i opsætningen, som skyldes en misforståelse i fortolkningen af en af parametrene i opsætningsfilerne. På grund af de aktuelle emissioners størrelser i basisåret sammenlignet med forpligtigelsesperioden og idet parameteriseringen påvirker alle år fra initialiseringen i 1980 - kombineret med net-net princippet - betyder dette, at denne fejl kun har mindre indflydelse på vurderingen af bidraget til reduktionsforpligtigelsen. Fejlen har primært betydning for vurderingen af den generelle udvikling i landbrugsjordernes samlede kulstofindhold.

## 2 Kortlægning af udgåede marker på tørvejord mellem 2010 og 2016

### 2.1 Indledning

Formålet med denne undersøgelse er at kortlægge marker på tørvejord (dvs. marker indenfor Tørv2010-kortet, >12 % organisk kulstof), som i perioden fra 2010 til 2016 er udgået fra de digitale markkort. Det betyder, at den aktuelle arealklasse for de fleste af disse marker er ukendt. Ud over antal og areal af marker som er udgået, gøres rede for hvilke afgrødetyper de udgåede marker havde året inden de udgik, samt om de udgåede marker er omfattet af kendte arealovergange. I forbindelse med dette notat er der taget kontakt til 32 lodsejere, i alt omfattende 432 ha udgået organisk jord (afsnit 2.4.6), for at få klarhed over årsagen til, at der ikke søges om enkeltbetaling på arealerne. Endelig er der for et udvalg af markerne lavet en kontrol af synlige ændringer på flyfotos.

### 2.2 Data

De data, som blev anvendt til denne undersøgelse, fremgår af tabel 2.1.

Tabel 2.1. Anvendte datasæt.

Navn	Beskrivelse	Reference
Markkort	Digitale markkort, baseret på ansøgninger om arealstøtte for årene 2010 – 2016	Miljø og Fødevareministeriet, 2010-2016
Landbrugsregistre	Landbrugsregistre, baseret på ansøgninger om arealstøtte for årene 2010 - 2015. Registerne indeholder bl.a. informationer om ansøgers navn og adresse	Miljø og Fødevareministeriet, 2010-2015
Tørvekort	Kort over udbredelse af tørvejorde	Greve m. fl. 2014
Basemap02	Kort over arealanvendelse for 2011 og 2016	Levin m.fl., 2017
Interview	Interview med 32 tilfældigt udvalgte lodsejere	Lærke, P.E. (afsnit 2.4.6)
Flyfotos	Ortofotos for årene 2010 til 2016	Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering, 2010-2016

### 2.3 Metode

#### 2.3.1 Rensning af topologifejl i markkortene

De anvendte markkort er baseret på ansøgers digitalisering af marker i sammenhæng med ansøgning om arealstøtte. Markkortene indeholder en række topologifejl i form af overlap mellem marker. Det vil sige, at marker er blevet digitaliseret oveni hinanden. Disse overlap blev rensed ud ved at tildele overlappende marker til den mark, som har det største areal.

#### 2.3.2 Konvertering til raster

De anvendte markkort er organiseret som polygoner (vektorformat). Til analyserne blev markkortene konverteret til rasterformat med en cellestørrelse på 10x10 meter. Markernes individuelle identifikationsnummer blev anvendt ved konvertering til rasterformat. Derved var det muligt i senere analyser at knytte markspecifikke informationer til kortlægningen af udgåede marker.

Markspecifikke informationer omfatter registrerede afgrøder, sagsnummer på ansøgeren samt CVR-nummer.

### 2.3.3 Kortlægning af udgåede marker på tørvejord

For hvert år blev de marker eller dele af marker, som lå på tørvejord og som er udgået i de efterfølgende år, kortlagt. For eksempel blev der kortlagt marker / dele af marker på tørvejord i 2010, som ikke var i nogen af markkortene i 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 eller i 2016.

Årsagen til at en del af de udgåede marker/dele af marker ikke var i nogen af markkortene skyldes, at markgrænserne pga. unøjagtigheder under ansøgerens digitalisering flytter sig en smule mellem årene. For at korrigere for denne usikkerhed, blev marker/dele af marker, som ligger fuldstændig indenfor 10 meter fra marker fra senere markkort, ikke kortlagt som udgåede. Antallet af udgåede marker/dele af marker på tørvejord blev derved reduceret fra godt 150.000 til 12.418. Arealet med udgåede marker/dele af marker på tørv blev reduceret fra ca. 8.000 ha til 5.484 ha.

## 2.4 Resultater

### 2.4.1 Udgåede marker på tørvejord fra 2010 til 2016

For perioden fra 2010 til 2016 er 12.418 marker/dele af marker på tørvejord kortlagt som udgået (tabel 2.2). Det samlede udgåede areal på tørvejord er 5.484 ha og udgør således omkring 7,5 % af det samlede markareal på tørvejord, som er indeholdt i markkortene i tidsrummet fra 2010 til 2015. Det udgåede areal varierer noget mellem årene og var højest fra 2011-2012 og lavest fra 2012-2013. I følge reglerne om arealstøtte kan der ikke søges støtte for marker under 0,3 ha, hvis disse ikke deler markgrænse med en anden mark, så de tilsammen udgør mindst 0,3 ha. En potentiel årsag til, at marker er udgået, kan derfor være, at de ikke længere opfylder dette krav om mindstestørrelse. Dette blev ikke undersøgt nærmere i denne opgørelse.

Tabel 2.2. Antal marker/dele af marker samt markareal på tørv som er kortlagt som udgået i perioden fra 2010 til 2016.

År udgået*	Antal marker / dele af marker	Areal (ha)	Andel af samlet areal (%)**
2010-2011	2.298	1.019,7	1,38
2011-2012	2.589	1.360,2	1,85
2012-2013	1.764	707,4	0,96
2013-2014	1.868	809,2	1,10
2014-2015	2.336	867,7	1,18
2015-2016	1.563	719,8	0,98
I alt	12.418	5.484,1	7,44

\*Tidspunkt hvor marker/dele af marker er udgået af markkortene

\*\*Andel af det samlede markareal på tørv i perioden fra 2010 til 2015

### 2.4.2 Udgåede afgrødetyper

Til denne opgørelse blev alle afgrøder i markkortene grupperet i fem overordnede afgrødetyper. Grupperingen fremgår af tabel 2.3.

Tabel 2.3. Anvendt gruppering af afgrøder i overordnede afgrødetyper.

Afgrødetype	Beskrivelse
Intensiv, afgrøde	Arealer som er dyrket med et- eller flerårige intensive afgrøder. Inkl. juletræer, energiafgrøder og frugtplantager. Uden græsarealer i rotation.
Intensiv, græs i rotation	Græsarealer som indgår i afgrøderotationen.
Ekstensiv	Arealer som er forvaltet ekstensive. Må ikke pløjes op i 5 år. Inkl. permanente græsarealer, naturarealer samt brakarealer.
Skov	Arealer med tilskud til skovrejsning/skovdrift.
Ukendt / uden afgrødekode	Arealer med ukendt afgrødekode eller uden registreret afgrødekode i markkortene.

Den største andel af arealet, som er kortlagt som udgået, omfatter ekstensivt drevne arealer, som udgør ca. 80 % (ca. 4.370 ha) af det samlede udgåede areal på tørv i perioden fra 2010 til 2016 (tabel 2.4). Der er forholdsvis lille variation i fordelingen af det udgåede areal over afgrødetyper mellem årene.

Tabel 2.4. Markareal på tørvejord, kortlagt som udgået i perioden fra 2010 til 2016, fordelt over afgrødetyper.

	Afgødetyper										
	Intensiv, afgrøde	Intensiv, græs i rotation	Ekstensiv	Skov	Andet / uden afgrødekode	I alt	Intensiv, afgrøde	Intensiv, græs i rotation	Ekstensiv	Skov	Ukendt / uden afgrødekode
År udgået*	Areal (ha)					Arealandel (%)**					
2010-2011	43,7	89,9	817,9	7,6	60,7	1.019,7	4,3	8,8	80,2	0,7	6,0
2011-2012	33,8	67,8	1.159,8	26,9	71,9	1.360,2	2,5	5,0	85,3	2,0	5,3
2012-2013	32,7	54,3	536,4	19,5	64,5	707,4	4,6	7,7	75,8	2,8	9,1
2013-2014	56,1	63,0	657,8	9,7	22,6	809,2	6,9	7,8	81,3	1,2	2,8
2014-2015	95,1	91,3	620,1	12,9	48,3	867,7	11,0	10,5	71,5	1,5	5,6
2015-2016	78,4	45,3	580,0	14,0	2,1	719,8	10,9	6,3	80,6	1,9	0,3
I alt	339,8	411,6	4.372,2	90,5	270,1	5.484,1	6,2	7,5	79,7	1,6	4,9

\*Tidspunkt hvor marker/dele af marker er udgået af markkortene

\*\*Andel af det samlede udgåede markareal på tørv for året

### 2.4.3 Udgåede bedrifter

Til denne opgørelse er det undersøgt, om udgåede marker skyldes, at bedriften er ophørt med at eksistere eller at ansøgeren har fravalgt at søge om arealstøtte. Dette er undersøgt ved at opgøre om bedriften eller ansøgeren udgår fra selve landbrugsregistre samtidig med at marker på bedriften udgår. Analysen kunne kun foretages for marker udgået mellem 2010 og 2015, da landbrugsregistret for 2016 på undersøgelsestidspunktet endnu ikke var tilgængeligt.

I alt er det udgåede markareal på tørvejord i årene 2010 til 2015 omfattet af 5.578 landbrugsbedrifter – her analyseret som ansøgere til arealstøtte. Af disse er 883 bedrifter (eller ca. 15 %) i samme periode også udgået fra landbrugsregistre. Disse bedrifter kan således ikke genfindes i registrene i de efterfølgende år.

For 741 ha eller 15 % af det samlede udgåede markareal på tørvejord mellem 2010 og 2015 er bedriften også udgået (tabel 2.5). Andelen varierer noget fra over 20 % af arealet mellem 2010 og 2011 til ca. 12 % mellem 2012 og 2013.

Tabel 2.5. Markareal på tørvejord udgået mellem 2010 og 2015 samtidig med at bedriften er udgået fra landbrugsregistre.

År udgået*	I alt	Bedriften udgået	
	Areal (ha)	Areal (ha)	Arealandel (%)
2010-2011	1.019,7	221,5	21,7
2011-2012	1.360,2	204,9	15,1
2012-2013	707,4	84,3	11,9
2013-2014	809,2	107,1	13,2
2014-2015	867,7	123,2	14,2
2010-2015	4.764,3	741,0	15,6

\*Tidspunkt hvor marker/dele af marker er udgået af markkortene

#### 2.4.4 Kendte arealovergange

Til denne opgørelse blev de marker, som blev kortlagt som udgåede på tørvejord, lagt sammen med kendte arealovergange for perioden fra 2011 til 2016, registreret i Basemap02 (Levin m.fl., 2017). Kendte arealovergange blev grupperet som beskrevet i tabel 2.6. En mark/del af en mark blev tildelt en arealovergang, hvis mindst 50 % af arealet ligger indenfor arealovergangen.

Tabel 2.6. Gruppering af kendte arealovergange.

Arealovergang	Beskrivelse
Ingen kendt arealovergang	Ingen arealovergang mellem 2011 og 2016
Til urban/infrastruktur	Arealet er mellem 2011 og 2016 gået fra anden anvendelse til urban eller vej
Til sø	Arealet er mellem 2011 og 2016 gået fra anden anvendelse til sø
Skov i 2016	Arealet har i 2016 været registreret som skov
Habitat i 2016	Arealet har i 2016 været registreret som habitat. Habitat omfatter lysåbne arealer, som er omfattet af naturbeskyttelsesloven eller habitatdirektivet

Den største andel af markarealet på tørv, som er udgået mellem 2010 og 2016 er i 2016 kortlagt som habitat (ca. 80 %) (tabel 2.7). Habitater omfatter her lysåbne arealer, som er omfattet af naturbeskyttelsesloven eller habitatdirektivet. At et udgået areal i 2016 er registreret som habitat, betyder ikke nødvendigvis, at arealet er gået over til habitat, da især ekstensivt drevne arealer, som udgør den største andel af de udgåede arealer, ikke er i direkte konflikt med § 3-reglerne eller habitatdirektivet og derfor også inden 2016 kan have været habitat. Godt 2 % af det udgåede areal er i 2016 kortlagt som skov. Skov dækker her skov fra Danmarks topografiske kortdatabase Kort10 samt fra driftsplaner for statsskovene og for Forsvarets arealer. En meget lille andel af det udgåede areal er omfattet af arealovergange til bebygget/vej eller til sø. Omkring 19 % af det udgåede areal er ikke omfattet af kendte arealklasser i 2016 eller af kendte arealovergange.

Tabel 2.7. Kendte arealovergange fra 2011 til 2016 på marker/dele af marker på tørvejord som er udgået mellem 2010 og 2016.

	Arealovergange mellem 2011 og 2016										
	Ingen kendt arealovergang	Til by/vej	Til sø	Skov i 2016	Habitat i 2016	I alt	Ingen kendt arealovergang	Til urban/vej	Til sø	Skov i 2016	Habitat i 2016
Afgrødetyper	Areal (ha)						Arealandel (%)*				
Intensiv, afgrøde	233,1	1,4	0,0	25,4	79,9	339,8	68,6	0,4	0,0	7,5	23,5
Intensiv, græs i rotation	182,2	0,6	2,4	2,5	223,9	411,6	44,3	0,2	0,6	0,6	54,4
Ekstensiv	583,6	2,2	0,8	40,7	3.744,9	4.372,2	13,3	0,1	0,0	0,9	85,7
Skov	12,3	0,0	0,0	33,6	44,6	90,5	13,5	0,0	0,0	37,2	49,3
Ukendt/uden afgrødekode	28,7	0,0	0,0	27,5	213,9	270,1	10,6	0,0	0,0	10,2	79,2
I alt	1.039,9	4,3	3,2	129,7	4.307,1	5.484,1	19,0	0,1	0,1	2,4	78,5

\*Andel af hele arealet indenfor afgrødetypen.

### 2.4.5 Kontrol på flyfotos

For 450 marker/dele af marker, som udgør 8,3 % af det samlede udgåede markareal for perioden fra 2010 til 2016, blev der lavet en kontrol af arealovergange med flyfotos. Marker/dele af marker blev udvalgt til kontrol, således at de omtrent repræsenterer fordelingen af afgrødetyper. Kontrollen blev baseret på en visuel tolkning af flyfotos fra året før marker/delen af marker udgik fra markkortene til året 2016. Ved kontrollen blev det vurderet, om der har været en synlig ændring i arealanvendelse i forbindelse med at marker/delen af marker udgik fra markkortene. Ændringer blev grupperet som beskrevet i tabel 2.8.

Tabel 2.8. Registrerede ændringer anvendt ved flyfototolkning.

Registrerede ændringer	Beskrivelse
Uændret	Ingen synlig ændring i arealanvendelse
Til ekstensivt	Ændring til ekstensiv arealanvendelse
Til skov	Ændring til skov/trævegetation
Til urban / råstofgrav	Ændring til urban anvendelse eller råstofgrav

For den største andel af de kontrollerede arealer (ca. 95 % af det samlede kontrollerede areal) kunne der ikke registreres nogen synlige ændringer i arealanvendelsen (tabel 2.9). Der er dog forskelle mellem afgrødetyperne. Mens der for næsten ingen ekstensive arealer eller skovarealer kunne ses nogen ændringer, gælder det kun for godt halvdelen af arealerne med intensive afgrøder. Her er ca. 23 % af arealet gået over til ekstensiv, og ca. 26 % af arealet er gået over til byanvendelse eller råstofgrave. For græsarealer i rotation er ca. 8 % af det kontrollerede areal gået over til ekstensive arealer og ca. 5 % til by / råstofgrav. Samlet viser kontrollen, at ekstensive arealer, som udgør den største andel (ca. 80 %) af det samlede udgåede areal på tørv i perioden 2010 til 2016, ikke er omfattet af ændringer, som kan ses på flyfotos. Det er dog vigtigt at bemærke, at det på flyfotos ikke er muligt at vurdere, om arealet er blevet mere vådt.



Tabel 2.9. Resultater af kontrol af arealændringer baseret på visuel tolkning af flyfotos.

	Kontrolleret					Registreret ændring fra før arealet er udgået til efter arealet er udgået							
						Uændret	Til ekstensivt	Til skov	Til by/råstofgrav	Uændret	Til ekstensivt	Til skov	Til by/råstofgrav
Afgrødetyper	Areal (ha)	Antal marker/dele af marker	Antal marker/dele af marker	Areal (ha)	Andel af areal (%)	Areal (ha)				Arealandel (%)*			
Intensiv, afgrøde	339,8	1.322	35	37,2	11,0	18,8	8,6	0,2	9,7	50,4	23,0	0,5	26,1
Intensiv, græs i rotation	411,6	1.442	36	30,8	7,5	27,0	2,4	0,0	1,4	87,8	7,7	0,0	4,6
Ekstensiv	4.372,2	9.000	348	348,0	8,0	347,7	0,0	0,4	0,0	99,9	0,0	0,1	0,0
Skov	90,5	175	9	5,3	5,8	5,3	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
Ukendt/uden afgrødekode	270,1	479	22	34,7	12,8	33,0	0,0	0,0	1,7	95,1	0,0	0,0	4,9
I alt	5.484,1	12.418	450	456,0	8,3	431,7	10,9	0,5	12,8	94,7	2,4	0,1	2,8

\*Andel af samlet areal indenfor afgrødetypen.

#### 2.4.6 Interviews af lodsejere

32 lodsejere er blevet interviewet. De ejer tilsammen 127 marker dækkende over et tørvejordsareal på 476 ha, som i perioden fra 2010 til 2016 er udgået fra de digitale markkort (baseret på ansøgninger om arealstøtte i perioden 2010-16). Ligeledes har de mindst en mark større end 3 ha, der er udgået, men ofte har de også flere mindre marker, der er udgået. Lodsejerne er således ikke udvalgt repræsentativt ift. markstørrelse. Til gengæld lykkedes det at dække et relativt stort tørveareal ved at udvælge lodsejere med de største marker. Det vurderes, at 4-5 gange så mange lodsejere uden held er forsøgt kontakten via telefon. Afgrødetyperne angivet i tabel 2.4 er repræsenteret med omtrent samme andel hos de interviewede lodsejere. Det er derfor primært muligt at uddrage tendenser for marker, der tidligere var i ekstensiv drift.

I de fleste tilfælde (18 lodsejere) er arealerne for våde til rentabel drift. Enkelte (3 lodsejere) kunne ikke identificere markerne ud fra interviewers oplysninger og 8 lodsejere svarede at ændringerne skyldes ejerskifte eller ændringer i forpagtningsaftaler. Endelig svarede to lodsejere, at der ikke længere kunne opnås arealstøtte til henholdsvis lavskov og pil pga. krav til minimum plantetal. En enkelt lodsejer havde fået jorden eksproprieret til jernbanebyggeri.

Der kan være flere årsager til at lodsejeren har opgivet at søge støtte til marken. Det generelle billede er, at betaling for udnyttelse/vedligeholdelse af arealet (høst, afgræsning) ikke i tilstrækkelig grad modsvarer udgifterne forbundet derved. I de tilfælde, hvor arealet er blevet markant vådere, skyldes det primært, at der er etableret naturgenopretningsprojekter, som grænser op til marken, at tørven har 'sat sig' og at åen, som marken afvander til, ikke længere bliver oprenset i samme grad som tidligere. Det kan dog ikke på baggrund af interviews konkluderes, at der generelt set er sket markante vandsandsstigninger på de udtagne tørvearealer.

## 2.5 Konklusion

I alt er 12.418 marker eller dele af marker på tørvejord i perioden 2010 til 2016 udgået fra markkortene. Det samlede udgåede markareal på tørvejorde var 5.484 ha eller 7,7 % af det samlede areal på tørv, som var indeholdt i markkortene fra 2010 til 2015.

Ekstensive arealer udgør den største andel af det udgåede markareal (79,7 %), efterfulgt af græs i rotation (7,5 %), intensive afgrøder (6,2 %) og skov (1,6 %). 4,9 % af det udgåede markareal var uden registreret afgrødekode i markkortene eller havde en ukendt afgrødekode.

For 15,6 % af det udgåede areal udgik også bedriften fra landbrugsregistre. Dette tyder på, at bedriften enten er ophørt eller ansøgerne har valgt ikke længere at søge om arealstøtte.

Den største del af det udgåede markareal på tørvejord var i 2016 omfattet af naturbeskyttelsesloven eller habitatdirektivet (78,5 %), mens 19,0 % af arealet ikke var omfattet af nogen kendte arealændringer. En mindre andel af det udgåede areal var omfattet af overgange til skov, til by/vej og til sø.

Kontrol af 8,3 % af det udgåede areal viser, at den største del af det udgåede markareal på tørv (95 %) ikke er omfattet af ændringer, som er synlige på flyfotos.

I den nuværende emissionsopgørelse og i fremskrivningen indgår en emission på 3,6 ton C per ha per år for arealer, som er udgået af markkortene (IPCC, 2014). De 3,6 ton per ha per år svarer til "shallow-drained areas" i IPCC's terminologi. Da de udgåede organiske arealer primært er overgået fra permanente græsarealer til naturarealer, må det antages, at disse er relativt våde. Den anvendte emissionsfaktor anses derfor at være dækkende for disse arealer, selvom den aktuelle dræningstilstand ikke kendes.

## 2.6 Udvikling af metoder til monitorering af ændring af arealers fugtighed

Kortlægningen af udgåede marker på tørvejord viser, at der er forholdsvis store arealer, som udgår fra markkortene. Om dette er forbundet med at arealerne bliver mere fugtige/våde, og derved øger kapaciteten for at binde kulstof, er ikke muligt at vurdere på baggrund af eksisterende data. Der er derfor behov for en forskningsindsats til at udvikle metoder til monitorering af fugtighed/ændring i fugtighed over tid.

Gennem de senere år har der været en betydelig udvikling inden for luftbårne sensordata. Disse omfatter bl.a. højopløselige satellitdata, såsom Sentinel2, laserdata (LiDAR) samt dronebaserede data. Disse data har en hidtil uset geografisk og temporal opløsning og vil kunne anvendes til monitorering af arealers fugtighed. Dette vil dog kræve sammenligning med faktiske monitoringer af vandstand på arealerne, herunder variation i vandstand over året og på tværs af arealerne, evt. afhængig af dræningsgrad og dybde.

Udvikling af metoder til monitorering af arealers fugtighed vil imidlertid kræve en forskningsindsats over 2-3 år i form af et Ph.d.- eller Post Doc-projekt. Aarhus Universitet råder over kompetencer til vejledning af et sådant projekt. Endvidere er problematikken omkring monitorering af arealers fugtighed i

sammenhæng med drivhusgasopgørelser også meget relevant i andre lande. Projektet vil således med fordel kunne indgå i et internationalt samarbejde.

## 3 Ændringer i fremskrivningen 2015 til fremskrivningen 2017

### 3.1 Emissionsfaktorer for organiske jorder

For de organogene jorder anvendes en fast emissionsfaktor per ha. I opgørelsen anvendes to forskellige klasser for organogene jorder, hhv. >12 % organisk kulstof (OC) og 6-12 % OC. Jorder som har >6 % OC er i den danske arealklassificering klassificeret som humusjord. I begge år er der anvendt emissionsfaktorer fra Elsgaard et al. (2012), Tabel 3.1. Arealerne med organisk jord i opgørelserne er baseret på et GIS-overlay mellem landmændenes indtegninger af den aktuelle beliggenhed af marker i Landbrugs- og Fiskeristyrelsens indberetningsystem om ansøgning om enkeltbetaling, Internet Markkort (IMK), og det af Institut for Agroøkologi udarbejde jordbundskort fra 2010 over tørvejorde (Tørv2010). Med denne metode fås et rimeligt præcist estimat for, hvordan jorderne anvendes. Arealerne med 6-12 % OC blev bestemt i forbindelse med udarbejdelsen af Tørv2010 kortet. Disse arealer er ikke blevet kortlagt geografisk og indgår derfor udelukkende som en procentisk andel af Tørv2010 arealet.

I emissionsopgørelserne for LULUCF afrapporteret til og med 2016 (opgørelse for 2014) er der udelukkende anvendt det areal, som har været sammenfaldende mellem IMK og Tørv2010 plus fraktionen af 6-12 % OC. Ved en nærmere analyse af IMK blev der i forbindelse med afrapporteringen i 2017 (for 2015) konstateret et forholdsvis stort fald i areal, som der ikke længere blev søgt grundbetaling eller enkeltbetaling til (se analyse i kapitel 2). Dette var i gennemsnit omkring 1.000-1.200 ha areal med høj organogen jord per år. På grund af opgørelsesmetoden indgik emissioner fra disse arealer med et nul, uanset hvad de blev anvendt til efter udtagningen. I forbindelse med 2017 afleveringen er der indført en emission fra disse jorde svarende til 3,6 ton C/ha/år, hvilket er en standardemission for svagt drænedede organiske jorder med permanent græs (IPCC, 2014). Denne ændring medfører en større udledning i de årlige opgørelser, end hvis de ikke var blevet tildelt en emission.

Tabel 3.1 viser de anvendte emissionsfaktorer og gennemsnitligt antal hektar, som indgår i hhv. 2015 (FREM15)- og 2017 (FREM17)-fremskrivningen (Kolonner 2-3). Kolonne 4 viser den samlede estimerede emission fra de organiske jorder i 2015-fremskrivningen og kolonne 5 viser den samlede estimerede emission fra de organiske jorder i 2017-fremskrivningen. Kolonne 6 angiver den gennemsnitlige årlige estimerede emission fra organiske jorder for perioden 2005-2007 i FREM15-fremskrivningen og kolonne 7 den gennemsnitlige årlige emission i FREM17-fremskrivningen.

Tabel 3.1. Tabel med anvendte emissionsfaktorer og arealer i hhv. 2015-fremskrivningen (FREM15) og 2017-fremskrivningen (FREM17). Areal tallene i tabellen for 2015 er dem, som er anvendt i opgørelsen for 2015.

1 Fremskrivning	2 Gennemsnitligt areal i 2021-2030 2013-fremskrivningen (2015-aflevering, FREM15)		3 Gennemsnitligt areal i 2021-2030 2015-fremskrivningen (2017-aflevering FREM17)		4 Emissioner (+)/Optag (-) 2021-2030 (FREM15)	5 Emissioner (+)/Optag (-) 2021-2030 (FREM17)	6 Gennemsnitlige emissioner (+)/Optag (-) 2005-07. (FREM15)	7 Gennemsnitlige emissioner (+)/Optag (-) 2005-07. (FREM17))	Kilde:
	Ton C/ha/år	Hektar	Ton C/ha/år	Hektar	kt CO <sub>2</sub> ækv.	kt CO <sub>2</sub> ækv.	kt CO <sub>2</sub> ækv. per år	kt CO <sub>2</sub> ækv. per år	
>12 % OC i omdrift og græs i omdrift	11,5	31381	11,5	46474	13232	19596	2440	2430	Elsgaard et al.,2012
>12 % OC, Vedvarende græs	8,4	21418	8,4	17627	6597	5429	556	519	Elsgaard et al.,2012
6 – 12 % OC i omdrift og græs i omdrift	5,75	19497	5,75	30010	4111	6327	758	760	50 % af Elsgaard et al. 2012
6 – 12 % OC, Vedvarende græs	0	13307	4,2	11382	0	1753	0	161	50 % af Elsgaard et al. 2012
Arealer udgået af Internet Markort, >12 % OC	0	0	3,6	3878	0	512	0	0	Shallow-drained grassland fra IPCC, 2014.
Arealer udgået af Internet Markort, 6 -12 % OC	0	0	1,8	1130	0	75	0	0	50 % af emissionen fra Shallow-drained grassland fra IPCC 2014.
Total, mio. CO <sub>2</sub> -ækv.					23940	33692	3754	3871	

Bilag 2 repræsenterer en sammenfatning af tilgængelige data for kulstofbalancer for danske organiske jorder. Der er tale om data fra fem publicerede måleprogrammer, hvoraf det ene (Elsgaard et al., 2012) dækker over geografisk fordelte studier, hvor kulstofbalancen for forskellige driftsformer er opgjort i samme år, og de målte data er opskalerede efter samme metode. De øvrige publicerede studier bidrager med information fra enkeltstående studier baseret på målinger i Store Vildmose og lavbundsgræs i Nørreådal. Sammenstillingen giver et utilstrækkeligt grundlag for at revidere de emissionsfaktorer, der kan begrundes fra studiet af Elsgaard et al. (2012), men anskueliggør udfordringen i at såvel årsvariation som opskalering af målte data spiller en stor rolle for de resulterende estimater (Huth et al., 2017). I den forbindelse ligger estimaterne i Elsgaard et al. (2012) i den øvre ende af skalaen. Samtidig illustrerer bilag 2 begrænsningen i tilgængelige danske data med henblik på at konsolidere gennemsnitlige emissionsfaktorer for drænedede organiske jorder i græs og omdrift.

### 3.2 Arealer med organiske jorder

En fremskrivning er en forventning om en fremtidig udvikling. Landmændenes indberetninger til IMK varierer mellem årene for en given mark, og der kan også være situationer, hvor man af vejrmæssige og dyrkningspraktiske årsager fastholder et areal som f.eks. vedvarende græs for senere at ændre det til omdrift og omvendt. Det betyder, at der være en betydelig årsvariation i arealet med omdrift eller vedvarende græs. En udfordring er også hvorvidt, der sker en ekstensivering til vedvarede græs som følge af en sætning af de organiske jorder i kombination med manglende afvanding. Dette vil typisk fremme andelen af vedvarende græs, som har en lavere emissionsfaktor end afgrøder i omdrift. De lave N-kvoter frem til landbrugspakkens indførelse har sandsynligvis også en effekt, fordi en højere N-kvote vil forbedre udbyttet på de marginale jorder og derfor mindske ekstensiveringen.

I FREM15 blev der delvis taget hensyn til, at organogene arealer overgik til andre formål. I 2015 blev det vurderet, at lavbundsordningen ville bidrage med et udtag på i alt 2.500 ha højorganogen jord (> 12% OC), og at der efter ordningens udløb, løbende ville forsvinde 1.000 ha høj organogen jord per år heraf 500 ha i årlig omdrift og 500 ha som græs i omdrift. De 1.000 ha var vurderet ud fra, at der i perioden 2010-2014 i gennemsnit var ansøgt om landbrugsstøtte til 1.247 ha mindre hvert år på organiske jorder. Da 6-12 % OC arealet ikke er udpeget på kort, men er beregnet som en andel af Tørv2010-kortet er der en tilsvarende nedgang i 6-12 % OC kategorien på 621 ha per år i 2015-fremskrivningen. Som følge af opgørelsesmetoden i 2015, hvor udtagne arealer blev antaget at være vanddækkede og automatisk ville få en emission på NUL per ha, betød det samlet et betydeligt fald i emissionerne fra de organiske jorde set over en 15-årig periode, fordi >25.000 ha ville udgå af opgørelsen.

Til brug for emissionsopgørelsen i 2017 blev der foretaget en GIS-analyse af oplysningerne i IMK over arealer, som er overgået med støtte til vådområder og derfor indeholdt i IMK-oplysningerne. Denne analyse viste, at der i perioden 2011-2015 var oprettet i alt 4.833 ha vådområder inkl. søer. Af disse lå kun 16,5 % af arealet indenfor Tørv2010 kortet. Det totale vådområdeareal, som er oprettet på høj organogen jord i perioden, var 797 ha. Med andre ord en meget stor del af de marker, hvorpå der i denne periode er oprettet vådområder, var ikke organiske jorder, så den generelle udtagningshastighed af organiske jorder, som var anvendt i 2015-fremskrivningen, var betydeligt overvurderet.

I forbindelse med FREM17 er der taget udgangspunkt i Landbrugs- og Fiskeristyrelsens input til finansloven for 2017. Denne indeholder forventninger til arealudtag under Lavbundsordningen samt N- og P-ordninger (§24.23.03.28, §24.23.03.29 og §24.23.03.34). Ifølge disse forordninger vil der frem til og med 2020 blive udpeget 6.810 ha til vådområdeprojekter. For Lavbundsordningen gælder, at 75 % af arealet skal være på organisk jord (Tørv2010-kortet (>12 % organisk kulstof)). For N- og P-ordningerne er der ikke krav om, at dele af arealet skal være på organisk jord.

På grundlag af ovennævnte GIS-analyse, er det antaget at 75 % af projektarealerne under Lavbundsordningen findes inden for jorder med > 12 % OC, og at 16,5 % af arealerne under N- og P-ordningerne ligger på jorder med > 12 % OC. Herudover er der foretaget en korrektion af de opgivne arealer i Finansloven med en faktor 0,7, fordi de opgivne arealer er projektarealer og ikke aktuelle landbrugsarealer. Faktoren 0,7 er baseret på erfaringer fra lignende

projekters landbrugsandele. Samlet giver det en udtagning på 1.401 ha landbrugsjord på arealer > 12 % OC i perioden 2016-2020.

Gennem de senere år har det kunnet konstateres, at det areal, som der søges om grundbetaling til (IMK) og som ligger indenfor Tørv2010-kortet, er faldende, jf. kap 2. Det er ukendt hvordan det areal, der falder ud (det 'ikke-registrerede' areal) anvendes, men det må formodes, at disse arealer har en lav dyrkningsværdi, muligvis pga. forsumpning. Disse arealer tildeles i FREM17 en årlig emission på 3,6 ton C per ha per år (IPCC 2014). Dette er anvendt i alle scenarier. I alt er det vurderet, at der fra 2020 og frem vil være 3.878 ha (>12 % OC) indenfor Cropland-arealet, som der ikke er redegjort for i IMK. De 3.878 ha er baseret på et fast areal i CL med organiske jorder > 12 % OC på 70.176 ha i 2010 og frem. De 'ikke-registrerede' arealer afviger lidt fra arealanalysen i sektion 2, idet metoderne bag estimaterne er forskellig. Det totale årlige organogene areal frem til og med 2020 er således beregnet som differencen mellem de 70.176 ha og forventningen til etablering af vådområder, jf. arealerne på finansloven. For 2021 og frem er arealet med organisk jord fastholdt, og dermed er der antaget en konstant emission fra disse jorder, fordi der ikke er besluttet yderligere tiltag. Det er således ikke inkluderet i FREM17, at arealer, der forlader/overgår til ikke-ansøgte arealer, for en vis del formentlig vil ligge på organisk jord, jf. sektion 2.

Som beskrevet ovenfor blev der i forbindelse med 2017-fremskrivningen indført en ny klasse med organiske jorder, bl.a. fordi der fra FN's side blev rejst spørgsmål omkring disse arealers beskaffenhed. Der blev derfor indført en kategori med "ikke-registrerede" arealer, som blev indregnet i emissionsopgørelsen med en emission på 3,6 ton C per ha per år for arealer med > 12 % OC, som anført i tabel 3.1. Dette er en værdi for svagt drænedede organiske jorder, jf. IPCC's terminologi, og det er en fagligt acceptabel emissionsfaktor.

Som eksempel på konsekvenserne af ovenstående ændringer blev der i 2015-fremskrivningen udtaget 10.000 ha høj organogen jord i perioden 2021-2030, mens der i den reviderede 2017-fremskrivning ikke er udtaget arealer, som skyldes overgange til anden praksis. Samtidig er der placeret et areal i den "ikke-registrerede" kategori på ca. 3.878 ha i 2020 og frem (tabel 3.2). Ved at tillægge disse arealer en CO<sub>2</sub>-emission er udledningen i 2017-fremskrivningen betydeligt større end i 2015-fremskrivningen, men må også antages at være et konservativt estimat.

Tabel 3.2. Oversigt over arealer > 12 % OC i FREM15- og FREM17-fremskrivningerne i hhv. 2015, 2020, 2025 og 2030. Arealer med et OC på 6-12 % er en delmængde af arealerne på > 12 % OC og udgør ca. 60 % af arealet >12 % OC.

	2015	2020	2025	2030
<b>Fremskrivning 2015</b>				
Arealer i omdrift/græs i omdrift (>12 % OC)	42547	36881	31881	26881
Vedvarende græs (>12 % OC)	21418	21418	21418	21418
<b>Fremskrivning 2017</b>				
Arealer i omdrift/græs i omdrift (>12 % OC)	47763	46474	46474	46474
Vedvarende græs (>12 % OC)	18327	22421	22421	22421
"Ikke-registrerede" arealer (>12 % OC)	3289	3878	3878	3878

### 3.3 Ændringerne i parameteriseringen af C-tool

Den oprindelige opsætning af C-Tool til national opgørelse af udviklingen i kulstofindhold i dyrket mineraljord er beskrevet af Petersen (2010). Der er siden da gennemført yderligere forskning for at underbygge model og data, som denne opsætning bygger på. C-Tool modellen er revideret og publiceret af Taghizadeh-Toosi et al. (2014b), og denne parameterisering ligger meget tæt på den, der blev anvendt af Petersen (2010). Opsætningen af kulstofindhold i dyrkningsjorden i den nationale opgørelse baseres på data fra det nationale kvadratnet, hvor udviklingen i kulstofindholdet er publiceret af Taghizadeh-Toosi et al. (2014a). Petersen (2010) har beregnet kulstofindholdet i jorden for forskellige jordtyper baseret på disse data fra 1986. Disse data er dog efterfølgende blevet genanalyseret baseret på reviderede volumenvægte (Taghizadeh-Toosi et al., 2014a) samt ved anvendelse af geometrisk gennemsnit af data, da der er skæv fordeling af jordens kulstofindhold, hvor nogle få jorder har meget højt kulstofindhold. Ved at benytte et geometrisk gennemsnit mindskes betydningen af de få punkter med meget højt indhold. Dette har ført til et generelt lavere gennemsnitligt estimeret kulstofindhold i jorden i 1986 sammenlignet med de værdier, der blev anvendt af Petersen (2010) (tabel 1). Disse reviderede værdier er i overensstemmelse med de publicerede kulstofindhold for de respektive jordtyper i Taghizadeh-Toosi et al. (2014a). De reviderede kulstofmængder per ha har kun en lille indflydelse på bidraget til reduktionsforpligtigelsen, fordi bidraget beregnes ud fra net-net-princippet og ikke ud fra de totale kulstofmængder.

Tabel 3.3. Standardværdier for total C i jorden til 1 m dybde baseret på data fra kvadratnettet opgjort i den nye nationale opgørelse for 1986 sammenlignet med den tidligere opgørelse baseret på Petersen (2010).

Region	Farvekode	Total C (t C ha <sup>-1</sup> ) målt i 1986	Total C (t C ha <sup>-1</sup> ) (Petersen, 2010)	Difference in total C (t C ½)
Jylland	1	124,2	145,4	21,2
Jylland	2 & 3	124,6	135,6	11,0
Jylland	4 & 5 & 6	135,8	180,0	44,4
Øerne	1	96,0	143,4	47,4
Øerne	2 & 3	109,3	130,9	21,6
Øerne	4 & 5 & 6	122,3	179,4	57,1

I tillæg til revisionen af estimererne af total kulstof i jorden, er der blevet gennemført en estimering af fordelingen af puljer af forskellige omsætteligt kulstof i jorden separat for hver jordtype i tabel 3.3 (Taghizadeh-Toosi og Olesen, 2016), hvor Petersen (2010) anvendte samme udgangsfordeling af kulstofpuljer for alle jordtyper. Der er dog kun tale om mindre ændringer i puljefordelingen. Den største effekt på størrelsen af den kulstofpulje, der reagerer på mellemlangt sigt, ligger derfor i de reviderede estimerer for de samlede kulstofpuljer som anført i tabel 3.3.

I tillæg til de ovennævnte ændringer er der i den nye opgørelse af udviklingen i nationalt kulstofindhold antaget, at kulstofinput fra rødder er uafhængig af



udbytte for de enkelte afgrøder (Taghizadeh-Toosi et al., 2016). Dette har dog kun ringe effekt på ændringer i udviklingen i jordens kulstofindhold.

Med den reviderede kulstofopgørelse er det god overensstemmelse mellem udviklingen i kulstofindhold på de forskellige jordtyper i kvadratnettet (Taghizadeh-Toosi et al., 2014a) og de modellerede ændringer på nationalt niveau. Samlet set fås modellerede ændringer, der ligger inden for det usikkerhedsinterval, der er på målingerne på nationalt niveau. Der er således overensstemmelse mellem de modellerede værdier og den nationale monitoring, hvilket er en af betingelserne for, at de modelbaserede estimater kan godkendes i det internationale review af den nationale emissionsopgørelse. En anden betingelse er, at opgørelsen bygger på metoder, der er publiceret i internationalt reviewede publikationer. Her er der siden Petersen (2010) gennemført publicering af C-Tool modellen (Taghizadeh-Toosi et al., 2014a), af den nationale monitoring af jordens kulstofindhold i kvadratnettet (Taghizadeh-Toosi et al., 2014b), af metoden til initialisering af kulstofindholdet i C-Tool modellen baseret på data fra kvadratnettet (Taghizadeh-Toosi og Olesen, 2016). Der udestår en international publikation, som beskriver metoden til den nationale opgørelse af jordens kulstofindhold, og hvor der også vil indgå vurdering af forskellige usikkerhedselementer i opgørelsen. Samtidigt vil der blive gennemført en konsolidering af beskrivelsen af de metoder og data, der indgår i den nationale modelbaserede opgørelse af kulstofindhold i dyrket mineraljord. Denne artikel er under udarbejdelse og forventes indsendt til et internationalt tidsskrift i 2017. Med denne artikel til den samlede dokumentation for en endelig godkendelse af Danmarks opgørelsesmetode for udvikling i jordens kulstofindhold på mineraljord være på plads.

Når der i den gamle opgørelse baseret på Petersen (2010) blev fundet et svagt fald i jordens kulstofindhold, og hvor der i den nye opgørelse findes en mindre stigning i kulstofindholdet på visse jordtyper og fald på andre, så hænger det især sammen med en ændret opgørelse af det typiske kulstofindhold på de respektive jordtyper (tabel 3.3). Det vurderes, at de reviderede (nye) estimater er i bedre overensstemmelse med typiske værdier på mineraljord i om-drift.

I SINKS2-projektet gennemføres i 2018 en ny national måling af jordens kulstofindhold. I denne nye måling sikres en bedre stedfæstelse af målinger af jordens kulstofindhold sammenlignet med tidligere målinger, således at det må forventes, at der vil kunne skaffes et bedre grundlag for at validere modelberegningerne. Samtidigt vil der også blive målt volumenvægte, hvilket også medvirker til at konsolidere grundlaget for modelbaseret estimering af udviklingen i jordens kulstofindhold.

## 4 Referencer

Doltra, J. Lægdsmand, M. and J. E. Olesen, 2014, Impacts of projected climate change on productivity and nitrogen leaching of crop rotations in arable and pig farming systems in Denmark, *Journal of Agricultural Science*, 152, 75–92.

Elsgaard L, Görres, CM, Hoffman, CC, Blicher-Mathiesen, G, Schelde K, Petersen SO, 2012. Net ecosystem exchange of CO<sub>2</sub> and carbon balance for eight temperate organic soils under agricultural management. *Agriculture Ecosystems and Environment* 162:52-67.

Greve, M.H., Christensen, O.F., Greve, M.B. & Kheir, R.B. 2014: Change in Peat Coverage in Danish Cultivated Soils During the Past 35 Years, *Soil Science*, May 2014 - Volume 179 - Issue 5 - p 250–257.

Görres C, Kutzbach L, Elsgaard L, 2014. Comparative modeling of annual CO<sub>2</sub> flux of temperate peat soils under permanent grassland management. *Agriculture Ecosystems and Environment* 186:64-76.

Kandel T, Elsgaard L, Lærke PE, 2013. Measurement and modelling of CO<sub>2</sub> flux from a drained fen peatland cultivated with reed canary grass and spring barley. *Global Change Biology Bioenergy* 5:548-561.

Kandel TP, Elsgaard L, Lærke PE, 2017a. Annual balances and extended seasonal modelling of carbon fluxes from a temperate fen cropped to festulolium and tall fescue under two-cut and three-cut harvesting regimes. *Global Change Biology Bioenergy*, doi:10.1111/gcbb.12424, 1-17.

Kandel TP, Elsgaard L, Lærke PE, 2017b. Annual fluxes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from temperate peat soils – differences between natural bog and drained agroecosystems under permanent grass, cereals and potato. Manuscript, in preparation.

Karki S, Elsgaard L, Kandel T, Lærke PE, 2015. Full GHG balance of a drained fen peatland cropped to spring barley and reed canary grass using comparative assessment of CO<sub>2</sub> fluxes. *Environmental Monitoring and Assessment* 187:62.

Karki S, Elsgaard L, Kandel T, Lærke PE, 2016. Carbon balance of rewetted and drained peat soils used for biomass production. *Global Change Biology Bioenergy* 8:969-980.

Huth V, Vaidya S, Hoffmann M, Jurisch N, Günther A, Gundlach L, Hagemann U, Elsgaard L, Augustin J, 2017. Divergent NEE balances from manual-chamber CO<sub>2</sub> fluxes linked to different measurement and gap-filling strategies: A source for uncertainty of estimated terrestrial C sources and sinks? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, DOI: 10.1002/jpln.201600493

IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

Jensen, P.N., Blicher-Mathiesen, G., Rolighed, J., Børgesen, C.D., Olesen, J.E., Thomsen, I.K., Kristensen, T., Sørensen, P., Vinther, F.P. (2016). Revurdering af baseline. Aarhus Universitet, Teknisk Rapport fra DCE nr. 67.

Levin, G., Iosub, C.-I. & Jepsen, M.R., 2017. Basemap02. Technical documentation of a model for elaboration of a land-use and land-cover map for Denmark. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 64 pp. Technical Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 95

Madsen, M.S., Maule, C.F., MacKellar, N. Olesen, J.E. and Christensen, J.H., 2012, Selection of climate change scenario data for impact modelling, Food Additives & Contaminants: Part A, Vol. 29, No. 10, 1502–1513

Maljanen, M., Sigurdsson, B.D., Guðmundsson, J., Óskarsson, H., Huttunen, J.T. & Martikainen, P. J. 2010: Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps. Biogeosciences 7, 2711-2738

Miljø og Fødevarerministeriet, 2010-2015. Landbrugsregistre for årene 2010 til 2015.

Miljø og Fødevarerministeriet, 2010-2016. Digitale markkort for årene 2010 til 2016. Hentet på <https://kortdata.fvm.dk/download/>

Pedersen EF, 1978. Compression and mineralisation of the peat layer in The Great Bog (Store Vildmose), N. Jutland, Denmark. Tidsskr. Planteavl 82, 509–520 (in Danish with English summary).

Petersen, B.M. (2010). A model for the carbon dynamics in agricultural, mineral soils. Aarhus University, Department of Agroecology and Environment.

Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering, 2010-2016. Ortofotos for årene 2010 til 2016.

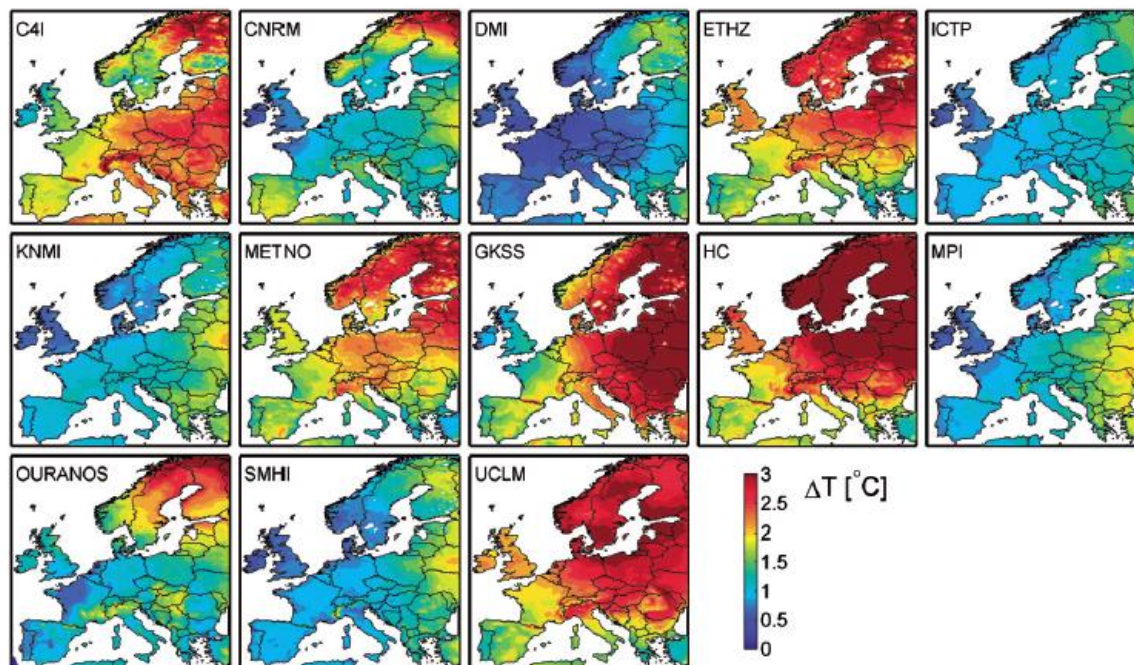
Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J.E., Kristensen, K., Elsgaard, L., Østergaard, H.S., Lægdsmand, M., Greve, M.H. & Christensen, B.T. (2014a). Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils during 1986 -2009: effects of management. European Journal of Soil Science 65, 730-740.

Taghizadeh-Toosi, A., Christensen, B.T., Hutchings, N.J., Vejlin, J., Kätterer, T., Glendining, M. & Olesen, J.E. (2014b). C-TOOL: A simple model for simulating whole-profile carbon storage in temperate agricultural soils. Ecological Modelling 292, 11-25.

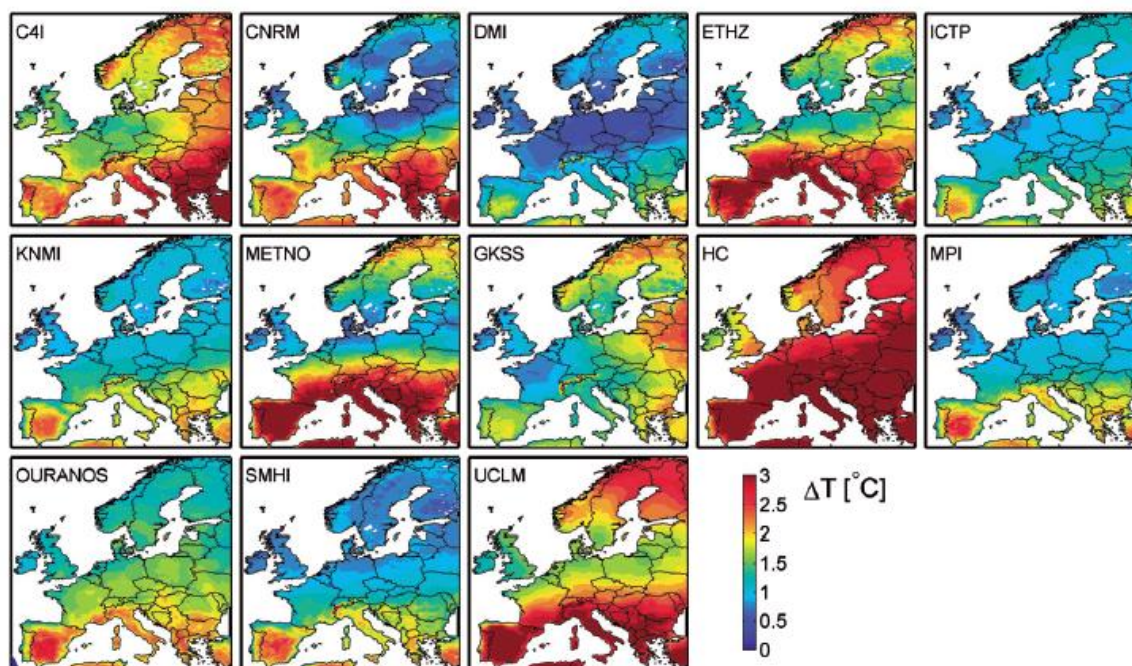
Taghizadeh-Toosi, A. & Olesen, J.E. (2016). Modelling soil organic carbon in Danish agricultural soils suggests low potential for future carbon sequestration. Agricultural Systems 145, 83-89.

Taghizadeh-Toosi, A., Christensen, B.T., Glendining, M. & Olesen, J.E. (2016). Consolidating soil carbon turnover model by improved estimates of below-ground carbon input. Nature Scientific Reports 6, 32568.

## Bilag 1. Beregnede temperaturændringer med forskellige modeller (Madsen et al., 2012).



Figur A.1. Estimeret ændring i middel vintertemperaturen (december-februar) for scenarieperioden 2031-2050 sammenlignet med en referenceperiode fra 1975-1994.



Figur A.2. Estimeret ændring i middel sommertemperaturen (juni-august) for scenarieperioden 2031-2050 sammenlignet med en referenceperiode fra 1975-1994.

## Bilag 2. Danske målinger af net ecosystem carbon balance (NECB) fra danske organiske jorde

**Table 1.** Compilation of annual estimates of net ecosystem carbon balances (NECB) from Danish organic soils (fens and bogs) under drained grassland and cropland management. Reported NECBs were generally assessed from net ecosystem exchange of CO<sub>2</sub> (measured using transparent static chamber techniques) as corrected for harvested biomass; in few cases bare soil respiration was used as proxy for NECB (see individual notes). Grasses used in rotational systems are listed under cropland.

Reference	NECB (Mg C ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )				Notes
	Grassland		Cropland		
	Mean	Sites	Mean	Sites	
Elsgaard et al. (2012) <sup>1</sup>	<b>8,4</b>	6,9 7,9 10,4	<b>11,5</b>	15,3 7,2 16,7 7,0 11,5	Fen and bog ecosystems. Arable sites cropped to annual grasses, cereals and potato
Görres et al. (2014)	<b>10,0</b>	9,7 9,7 10,6			Same grassland data as Elsgaard et al. (2012); but different modelling. Means of reported minimum and maximum values
Pedersen (1978)			<b>4,9</b>	5,0 4,7	Data for two bog sites in different years; balances from bare soil respiration
Karki et al. (2015)			<b>5,7</b>	3,5 7,8	Spring barley and reed canary grass on fen peatland; (data corrected to exclude N <sub>2</sub> O)
Kandel et al. (2013)			<b>5,2</b>	4,3 6,1	Same data as Karki et al. (2015); but different modelling
Kandel et al. (2017b)	<b>7,8</b>	7,8	<b>5,8</b>	5,5 6,8 5,2	Unpublished manuscript for bog sites; balances from bare soil respiration. Arable sites cropped to cereals and potato
Karki et al. (2016)			<b>6,8</b>	3,5 10,0	Mesocosm studies with fen peat soil under drained conditions at WT of 30 and 40 cm
Kandel et al. (2017a)			<b>0,9</b>	1,5 0,3	Fen cropped to festulolium and tall fescue with two- and three-cut harvest; wet year